

بازسازی کمی آب‌وهوای گذشته بر اساس تعمیم روابط اقلیم-گرده معاصر به روش MAT

محمدامین مرادی مقدم؛ دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

قاسم عزیزی*؛ استاد جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

احمدرضا محرابیان؛ استادیار گروه علوم و فناوری گیاهی، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

فرامرز خوش‌اخلاق؛ دانشیار جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

علی اکبر شمسی‌پور؛ دانشیار جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۲

چکیده

با وجود اینکه بازسازی کمی با استفاده از گرده‌های گیاهی از دهه‌های گذشته آغاز شده است، مطالعات انجام‌شده درباره آب‌وهوای گذشته ایران عمدتاً کیفی و مقایسه‌ای است. بازسازی کمی در مناطق مختلف نیازمند شناخت رابطه بین ترکیب‌های گرده‌ای و متغیرهای اقلیمی است و سپس تفسیر گرده‌های فسیل بر اساس روابط بین آن‌ها انجام می‌شود. بدین منظور در این پژوهش ۱۱۹ نمونه برداشت‌شده از لایه ۱ سانتی متری سطح خاک از غرب ایران و رشته‌کوه زاگرس تفسیر شد. دامنه ارتفاعی این نقاط ۱۵۰ تا ۴۱۳۰ متر از سطح دریا و دامنه دمای میانگین سالیانه آن‌ها از ۲۵/۹۴ تا ۲/۱ درجه سانتی‌گراد و دامنه میانگین بارش سالیانه آن‌ها از ۲۰۳ تا ۷۴۸ میلی‌متر متغیر است. روابط متغیرهای دمای میانگین سالیانه و دمای میانگین فصول زمستان و تابستان و بارش میانگین سالیانه و فصل‌های زمستان و تابستان و بهار با ترکیب‌های گرده‌ای واکاوی شد. توابع انتقال بر اساس روش مشابهت معاصر (MAT) برای دمای میانگین سالیانه ($RMSEP=3.74$ C و $R^2=0.6$)، بارش میانگین سالیانه ($RMSEP=82.74$ mm و $R^2=0.79$)، و بارش میانگین فصل بهار ($RMSEP=21.1$ mm و $R^2=0.62$) به کار برده شد. نتایج نشان داد ترکیب‌های گرده‌ای قابلیت برآورد پارامترهای اقلیمی را دارند. با به‌کارگیری مدل MAT برای رکوردهای فسیل دریایچه زریبار در غرب ایران بازسازی کمی متغیرهای آب‌وهوایی اواخر پلویستوسن و دوره هولوسن در این منطقه صورت گرفت. بازسازی کمی نشان داد دمای میانگین سالیانه در دوره پلویستوسن ۴ تا ۵ درجه سلسیوس سردتر و بارش میانگین سالیانه ۲۰ درصد کمتر از دوره معاصر بوده است. کلیدواژگان: بازسازی کمی آب‌وهوا، غرب ایران، گرده‌های گیاهی.

مقدمه

درک شرایط اقلیمی گذشته و تحلیل تغییرات معنادار اقلیمی نیازمند وجود داده‌های زمانی کمی و واقعی قابل اعتماد از متغیرهای اقلیمی و همچنین الگوی مکانی آن‌ها در گذشته است. این داده‌ها باید دامنه و ویژگی تغییراتی را که رخ داده است به خوبی نمایان کنند (وب^۱ و برایسون ۱۹۷۲). تجهیزات اندازه‌گیری مستقیم متغیرهای اقلیمی فقط برای بخش کوچکی از گذشته اقلیم زمین ($>10^{-7}$) در دسترس است (برادلی^۲ ۲۰۱۲: ۲). بنابراین باید منابع غیرمستقیم اندازه‌گیری متغیرهای اقلیمی مبنای ارزیابی قرار گیرند (وب و برایسون ۱۹۷۲).

از آنجا که پیش‌بینی تغییرات اقلیمی آینده بر پایه مدل‌های اقلیمی کامپیوتری در حال پیشرفت است، جهت ارزیابی موثق بودن نتایج چنین مدل‌هایی وجود داده‌های کمی اقلیم دیرینه ضروری است (چدادی^۱ و همکاران ۱۹۹۷؛ ناکاگوا^۲ و همکاران ۲۰۰۲؛ پارک^۳ ۲۰۱۱؛ موری^۴ و همکاران ۲۰۱۵).

تاکنون بازسازی‌های کمی اقلیم به صورت محدود با استفاده از انواع رکوردهای محیط زیستی گذشته، از قبیل حشرات و حلقه‌های درختی، انجام شده است (آتکینسون^۵ و همکاران ۱۹۸۷؛ هیری^۶ و همکاران ۲۰۰۳). اما، از آنجا که پراکندگی گیاهان به شدت متأثر از مؤلفه‌های اقلیمی، از قبیل بارش و دما، است (مو^۷ و همکاران ۲۰۱۵)، داده‌های گرده و ماکروفسیل گیاهان برای بازسازی کمی اقلیم دیرینه در مقیاس‌های منطقه‌ای تا قاره‌ای کاملاً مناسب‌اند (بارتلین^۸ و همکاران ۲۰۱۱). از طرف دیگر، چنانچه بازسازی کمی اقلیم و تهیه سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی با استفاده از رکوردهای گوناگون انجام گیرد، امکان مقایسه بین این رکوردها وجود دارد (چدادی و همکاران ۱۹۹۷؛ فلتچر^۹ و توماس ۲۰۱۰).

داده‌های پوشش گیاهی گذشته، شامل گرده‌های گیاهی و ماکروفسیل‌های گیاهی، ترکیب مناسبی از پوشش سطح زمین و واکنش‌های چندمتغیره (ترکیب‌های گیاهی اطلاعاتی درباره چندین جنبه اقلیم را با خود دارند) و مستندات خوبی برای بازسازی کمی اقلیم گذشته‌اند (بارتلین و همکاران ۲۰۱۱)؛ طوری که با تجزیه و تحلیل رسوبات در محیط‌های دریاچه‌ای امکان تهیه اطلاعات ارزشمند از پوشش گیاهی و تغییر اقلیم وجود دارد (فرچت^{۱۰} و همکاران ۲۰۰۸).

ایمبری^{۱۱} و کیپ^{۱۲} در سال ۱۹۷۱ برای اولین بار الگوریتمی را برای بازسازی متغیرهای زیست‌محیطی بر اساس پروکسی‌های بیولوژیکی ارائه کردند. در واقع، ایمبری و کیپ برای اولین بار در پالئوکولوژی کواترنری، با به نمایش گذاشتن یک روش رقومی برای بازسازی کمی محیط زیست‌های گذشته، با استفاده از گرده فسیل جمع‌آوری شده، تغییر اساسی ایجاد کردند (ون^{۱۳} و همکاران ۲۰۱۳).

در دهه‌های اخیر روش‌های رقومی، از جمله تابع انتقال^{۱۴} (ایمبری و کیپ ۱۹۷۱؛ بارتلین و همکاران ۱۹۸۴)، سطح پاسخ گرده^{۱۵} (PRS) (بارتلین و همکاران ۱۹۸۶؛ پرتیس^{۱۶} و همکاران ۱۹۹۱)، روش مشابهت جدید^{۱۷} (MAT) (اورپک^{۱۸} و همکاران ۱۹۸۵؛ جیوت^{۱۹} ۱۹۹۰؛ ناکاگوا و همکاران ۲۰۰۲؛ سوگایا^{۲۰} و همکاران ۲۰۱۶)، و وزن‌دهی به روش میانگین

1. Cheddadi
2. Nakagawa
3. Park
4. Mauri
5. Atkinson
6. Heiri
7. Mu
8. Bartlein
9. Fletcher
10. Frechette
11. Imbrie
12. Kipp
13. Wen
14. transfer function
15. pollen response surface
16. Prentice
17. modern analog technique
18. Overpeck
19. Guiot
20. Sugaya

حداقل مربعات جزئی^۱ (WA-PLS) (تربراک^۲ و جاگینس^۳ ۱۹۹۳؛ بیرکس^۴ ۱۹۹۵؛ لی^۴ و همکاران ۲۰۰۷) ایجاد و بسط داده شده است تا روابط بین متغیرهای اقلیمی و توزیع گرده‌های معاصر را به گرده‌های فسیل تعمیم دهند.

تحقیق در زمینه کالیبراسیون روابط گرده-اقلیم دوره معاصر و بازسازی‌های کمی آب‌وهوای دیرینه با تعمیم این روابط به گرده‌های رسوبات در بسیاری از نواحی جهان، مانند آمریکا (وب و برایسون ۱۹۷۲؛ مارکگراف^۵ و همکاران ۲۰۰۲؛ رول^۶ ۲۰۰۶)، اروپا (بیرکس ۱۹۹۵؛ فینسینگر^۷ و همکاران ۲۰۰۷؛ بیجون^۸ و همکاران ۲۰۰۹؛ چدادی و همکاران ۲۰۰۹)، آسیا (شن^۹ و همکاران ۲۰۰۶؛ لی و همکاران ۲۰۰۷؛ هرزچو^{۱۰} و همکاران ۲۰۰۹؛ پارک و همکاران ۲۰۱۱)، افریقا (چدادی و همکاران ۱۹۹۸؛ بونیفایل^{۱۱} و چالی ۲۰۰۰)، و استرالیا (کووک^{۱۲} و کارس ۲۰۰۶؛ فلتچر و توماس ۲۰۱۰) انجام شده است.

با وجود اینکه بازسازی کمی با استفاده از گرده‌های فسیل از سال‌های گذشته آغاز شده است، مطالعات انجام گرفته در ایران شرایط گذشته اقلیم ایران را به صورت کیفی و مقایسه‌ای تشریح کرده‌اند و بازسازی‌های کمی اقلیمی در ایران تاکنون انجام نشده است (ون زیست^{۱۳} ۱۹۶۷؛ جمالی^{۱۴} و همکاران ۲۰۰۸، ۲۰۰۹؛ صفایی و همکاران ۱۳۹۳؛ داودی و همکاران ۱۳۹۳). بازسازی‌هایی که در ایران و سایر نقاط با استفاده از تفسیر گرده‌های فسیل انجام شده است عمدتاً بر اساس شاخص‌های گرده‌ای، مانند تعداد گرده‌های درمنه به اسفناجیان یا گرده‌های درختی به غیردرختی، بوده است. با توجه به روش‌های استفاده‌شده برای تحلیل گرده‌های فسیل، نتایج مختلفی از آن‌ها گرفته می‌شود (ژو^{۱۵} و همکاران ۲۰۱۰، ۲۰۱۶). یکی از عوامل اصلی مغایرت در نتایج کمبود مطالعات تجربی سیستماتیک و جامع در زمینه پراکندگی گرده‌های معاصر، به‌ویژه از لحاظ کمی، و رابطه بین آب‌وهوا-گرده-پوشش گیاهی و فرایندهای رسوب آن‌هاست (ژو و همکاران ۲۰۱۶). تفسیر گرده‌های فسیل در موارد متعدد بر اساس استنادات غیرمعتبر و ناقص انجام می‌شود. مثلاً درصد‌های گرده اغلب با این فرض تفسیر می‌شوند که ارتباط خطی با پوشش گیاهی دارند؛ درحالی‌که این موضوع صحت ندارد (ژو و همکاران ۲۰۱۶) و روابط بین گرده، پوشش گیاهی، کاربری زمین، و آب‌وهوا خطی نیست (ژو و همکاران ۲۰۰۷، ۲۰۱۶). همچنین بقای گرده در محیط‌های مختلف و بر اساس گرده‌های مختلف متفاوت است و این موضوع در تفسیر گرده‌های فسیل نادیده گرفته می‌شود (ژو و همکاران ۲۰۱۶). بنابراین نیاز است در مناطق مختلف رابطه بین پراکنش گرده‌ها و متغیرهای اقلیمی شناخته و سپس بر اساس روابط بین آن‌ها به تفسیر گرده‌های فسیل پرداخته شود.

1. weighted averaging partial least squares

20 Ter Braak

3. Birks

4. Li

5. Markgraf

6. Rull

7. Finsinger

8. BJune

9. Shen

10. Herzchuh

11. Bonnefille

12. Cook

13. Van Zeist

14. Djamali

15. Xu

تنوعات بارز اقلیمی، پوشش گیاهی دیرینه منطقه، پتانسیل تنوع (فری^۱ و پروبست ۱۹۸۶)، وجود خاک‌ها با بسترهای صخره‌ای خاص (هدج^۲ و وندلیو ۱۹۷۸)، و ایزوله بودن جغرافیایی در ایران اندمیسم بالا را به دنبال داشته است. به علاوه، غنای شرایط اکوتونی (کلمنتس^۳ ۱۹۰۵؛ ریسر^۴ ۱۹۹۵) ناشی از نفوذ اقلیم مدیترانه‌ای (جمالی و همکاران ۲۰۱۱) و تقاطع نواحی جغرافیای گیاهی متنوع سبب تنوع و بروز گونه‌های اندمیک در دامنه‌های غربی زاگرس شده است. با توجه به این شرایط، نیاز به توابع انتقال مختص این ناحیه برای بازسازی‌های کمی کاملاً محسوس است.

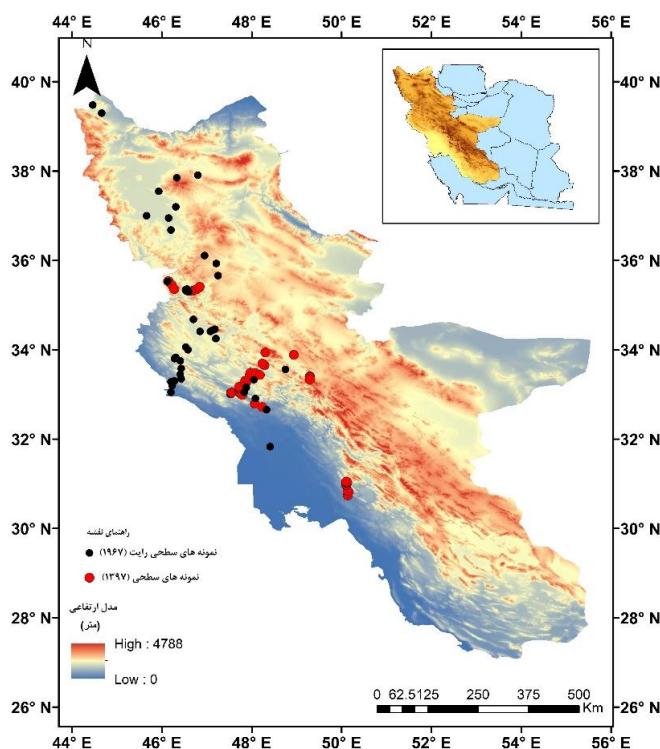
غرب ایران محل زندگی انسان‌ها در اعصار مختلف بوده و هست. مطالعه شرایط اقلیمی و دامنه تغییر هر یک از متغیرهای اقلیمی در نقاط گوناگون این منطقه در گذشته می‌تواند جوابگوی بسیاری از سؤالات اقلیمی و حتی اجتماعی باشد. در این پژوهش، تعداد ۵۹ نمونه از خاک سطحی شیب‌های کوهستان از نواحی کم‌ارتفاع خوزستان تا ارتفاعات کوهستان زاگرس و همچنین از رشته‌کوه زاگرس شمالی تا جنوبی برداشته و تحلیل‌های گرده‌شناسی روی آن‌ها انجام شد. با توجه به اینکه تعداد نمونه‌های بیشتر به بهتر نمایاندن روابط متغیرهای اقلیمی و داده‌های گرده‌ای می‌افزاید، در این تحقیق نتایج گرده‌شماری تعداد ۶۰ نمونه سطحی، که رایت^۵ (۱۹۶۷) برداشت کرده بود، نیز تفسیر شد. هدف اصلی این پژوهش مطالعه روابط بین ترکیب‌های گرده‌ای با عناصر اقلیمی در نواحی غربی ایران و واکاوی قابلیت این روابط برای بازسازی کمی عناصر اقلیمی بود. در نهایت یک نمونه بازسازی کمی با استفاده از تعمیم روابط اقلیم-گرده معاصر به داده‌های گرده‌ای رسوبات دریاچه زریبار انجام گرفت.

منطقه مورد مطالعه

آبوهوا

منطقه مورد مطالعه بین ۳۰ تا ۳۹٫۵ درجه شمالی و ۴۴٫۵ تا ۵۰ درجه غربی و دامنه ارتفاعی ۱۰۰ تا ۴۳۰۰ متر در غرب و شمال غرب ایران واقع شده است (شکل ۱). آبوهوای غرب ایران عمدتاً مدیترانه‌ای است و به جز شمال غرب ایران، تقریباً همه بارش سال در فصول پاییز و زمستان و بهار رخ می‌دهد. تابستان، به‌ویژه در ارتفاعات کم، گرم و خشک است. عامل اصلی آرایش مکانی دما و بارش ناهمواری‌های و به‌ویژه رشته‌کوه زاگرس است (مسعودیان ۱۳۹۰: ۱۰) که مانعی مؤثر در مسیر رطوبت منطقه مدیترانه محسوب می‌شود. ناهمواری‌های زاگرس بر سامانه‌های غربی و جنوب غربی اثر می‌گذارند و آن‌ها را وادار به صعود می‌کنند و سبب تقویت آن‌ها می‌شوند (مسعودیان ۱۳۹۰). دمای این منطقه نیز از دو عامل ناهمواری و عرض جغرافیایی^۶ تأثیرپذیر است؛ طوری که طبق محاسبات همبستگی دماهای اندازه‌گیری شده با دو متغیر ارتفاع^۷ و عرض جغرافیایی در این پژوهش، با افزایش ۱۰۰ متر ارتفاع از دمای هوا به طور متوسط ۰/۵ درجه سانتی‌گراد کاسته می‌شود و همچنین با افزایش یک درجه عرض جغرافیایی دمای هوا به طور متوسط ۱ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد.

1. Frey
2. Hedge
3. Clements
4. Risser
5. Wright
6. ycoordinate
7. elevation



شکل ۱. نقشه توپوگرافی غرب ایران و رشته کوه زاگرس که موقعیت نمونه‌های برداشت‌شده سطحی سال ۱۳۹۷ و نمونه‌هایی را که رایت و همکارانش (۱۹۶۷) برداشت کرده‌اند، به ترتیب، با دایره‌های قرمز و سیاه نشان می‌دهد.

پوشش گیاهی

چهار نوع پوشش گیاهی اصلی استپ مزوپوتامی، استپ- جنگل کوهپایه‌های زاگرس و کوه‌های فلات داخلی ایران، جنگل‌های بلوط کوه‌های زاگرس، و استپ فلات داخلی ایران در غرب ایران قابل تشخیص است (رایت ۱۹۶۷). در مناطق کم‌ارتفاع غرب ایران، با بارش سالیانه بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر، دو پوشش گیاهی را زوهری از هم تفکیک کرده است؛ پوشش گیاهی طبیعی بخش شمالی کمربند کم‌ارتفاع که شامل علفزارهای آرمیزای مزوپوتامی است (زوهری ۱۹۷۳: ۵۹۶ - ۵۹۸) و یک پوشش گیاهی که نوار گسترده از زمین‌های جنوبی ایران را دربر گرفته و تا شرق کشور کشیده شده است. درخت‌ها و درختچه‌های مختلف در این پوشش گیاهی دیده می‌شود (رایت ۱۹۶۷).

بین پوشش گیاهی مناطق کم‌ارتفاع و جنگل‌های بلوط زاگرس یک کمربند استپ- جنگل وجود دارد. بارش در این ناحیه ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر در سال است. درخت‌ها و درختچه‌های تنک و منفرد پسته کوهی و بادام و کنار در این پوشش گیاهی وجود دارند که در حال تخریب کامل بر اثر مداخلات انسانی است. در لبه داخلی رشته کوه زاگرس یک منطقه جنگل- استپ بادام- پسته، گسترده بین کمربند جنگل و استپ و بیابان- استپ فلات مرتفع، وجود دارد.

در ارتفاعات ۷۰۰ - ۸۰۰ متری تا ۲۰۰۰ متری و بارش سالیانه بیشتر از ۵۰۰ میلی‌متر جنگل بلوط زاگرس یا جنگل-

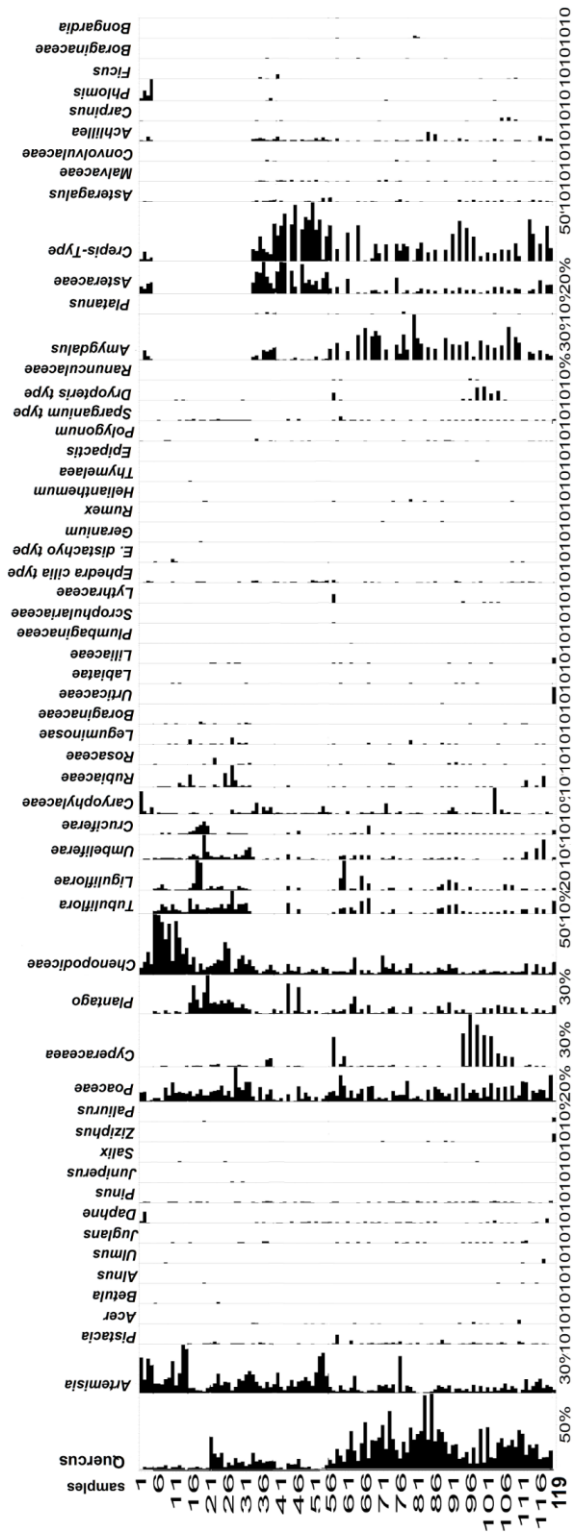
استپ بلوط کردو- زاگرس دیده می‌شود (زوهری ۱۹۷۳: ۵۸۳ - ۵۸۲). درخت غالب این ناحیه بلوط ایرانی^۱ است. بسته به عوامل جغرافیایی یا محلی (یا هر دو) حد بالایی رویشگاه جنگل بلوط بین ۲۳۰۰ تا ۲۵۰۰ متر قرار دارد. پابوت (۱۹۶۰) یک جنگل- استپ سروکوهی، با تعدادی *Lonicera* و *Amygdalus* و *Daphne* به علاوه *Juniperus excelsa* را برای ارتفاعات بین ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر پیشنهاد داده است. بالای ۳۰۰۰ متر، پوشش گیاهی آبی بدون درخت تشکیل‌دهنده پوشش گیاهی طبیعی است.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری و شمارش گرده‌های نمونه‌های سطحی

برای این پژوهش تعداد ۵۹ نمونه سطحی در پاییز و زمستان سال ۱۳۹۷ تهیه شد. همچنین نتایج گرده‌شماری تعداد ۶۰ نمونه، که رایب و همکارانش در سال ۱۹۶۷ از منطقه پژوهش برداشت کرده و در مقاله علمی به چاپ رسانده بودند، استفاده شد. بنابراین در مجموع تعداد ۱۱۹ نمونه سطحی در این پژوهش تحلیل شد. در این پژوهش سه برش عرضی از دامنه‌های غربی زاگرس، واقع در شرق استان خوزستان و غرب کهگیلویه و بویراحمد، شمال استان خوزستان و استان لرستان و بخش‌هایی از استان ایلام و همچنین استان کردستان از نواحی پست تا ارتفاعات بالای این کوهستان برداشته شد. برای برداشت نمونه‌های سطحی بدین گونه عمل شد که پنج نمونه با ابعاد ۱۵ سانتی‌متر در ۱۵ سانتی‌متر از لایه ۱ سانتی‌متری سطح خاک از چهار گوشه و وسط یک محدوده (کوادر) ۱۰ متر در ۱۰ متر برداشت و با هم مخلوط و به عنوان یک نمونه برای هر نقطه در کیسه‌های پلاستیکی ریخته شد. موقعیت جغرافیایی و همچنین ارتفاع نقاط برداشت نمونه با استفاده از GPS ثبت شد. با توجه به مرطوب بودن نمونه‌ها، ابتدا نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از خارج کردن از آون، نمونه‌ها در هاون کوبیده و نرم شد. سپس با الک با مش ۱ میلی‌متری الک شد. استخراج گرده‌ها با استفاده از ترکیبی از روش‌های استاندارد فگری^۲ و ایورسن^۳ (۱۹۷۵) و ارتمن^۴ (۱۹۶۹) شامل تیمار با ۱۰٪ KOH، ۱۰٪ HCL، ۴۶٪ HF، عبور از صافی‌های ۱۶۰ میکرون برای حذف مواد درشت‌تر و حذف مواد ریز با استفاده از صافی ۷ میکرون، استولیز و رنگ‌دهی با ترکیب اسیدفسفریک و انیدریک، آبیگری با اسیداستیک و TBA، و قرار دادن نمونه‌ها در روغن سیلیکون انجام شد. برای شناسایی و شمارش گرده‌ها از میکروسکپ نوری با بزرگ‌نمایی ۴۰۰ برابر استفاده شد. برای هر نمونه ۳۰۰ گرده شمارش شد. شناسایی گرده‌ها با استفاده از گرده‌های شناسایی‌شده در آزمایشگاه گرده‌شناسی دانشکده جغرافیایی دانشگاه تهران، که در پایان‌نامه‌ها و رساله‌ها به چاپ رسیده است، و اطلس گرده‌های فلوریدای امریکا و مواردی که به صورت موردی در مقالات به چاپ رسیده بود انجام شد. در مجموع برای نمونه‌های سال ۱۳۹۷ و نمونه‌های رایب و همکارانش (۱۹۶۷) تعداد ۵۸ نوع گرده از نمونه‌های سطحی، طبق شکل ۲، شناسایی و شمارش شد.

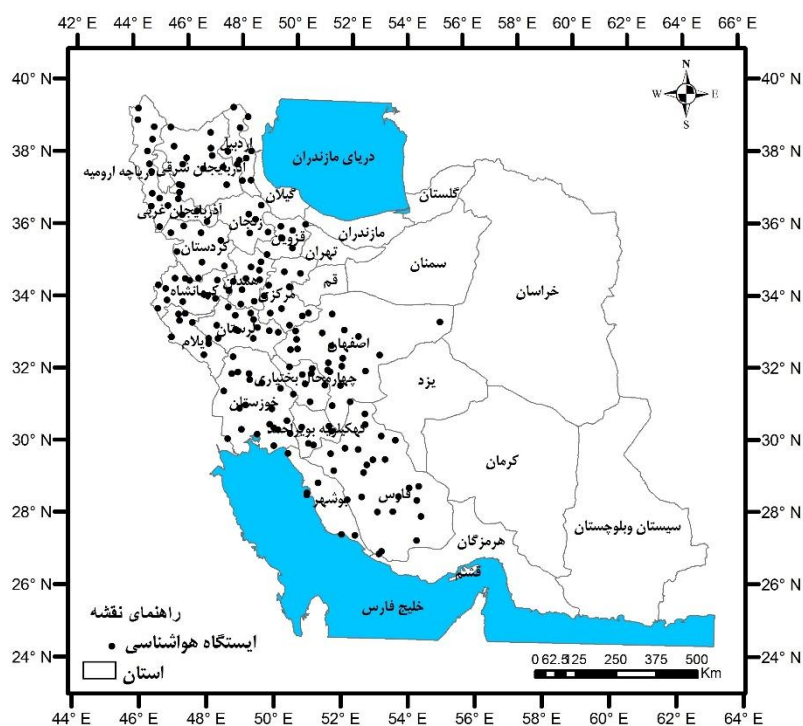
1. *Quercus branti* or *Quercus persica*
2. *Faegri*
3. *Iversen*
4. *Erdtman*



شکل ۲. نوع و تعداد گرده‌ها به درصد برای ۱۱۹ نمونه سطحی

تعیین پارامترهای اقلیمی نمونه‌ها

برای تهیه نقشه‌های هم‌دما و هم‌بارش منطقه از تعداد ۱۹۵ ایستگاه هم‌دید سازمان هواشناسی در نیمه غربی کشور، که دوره ثبت داده‌های آن‌ها دوره ده‌ساله (۲۰۰۸ - ۲۰۱۷) را پوشش می‌دهد استفاده شد (شکل ۲). با توجه به نبود تعداد کافی ایستگاه‌های با دوره آماری سی‌ساله در منطقه و از طرفی نیاز به تراکم بالاتر از ایستگاه‌ها، به منظور پهنه‌بندی دما و بارش منطقه، دوره آماری ده‌ساله در نظر گرفته شد تا از تعداد بیشتری از ایستگاه‌ها استفاده شود.

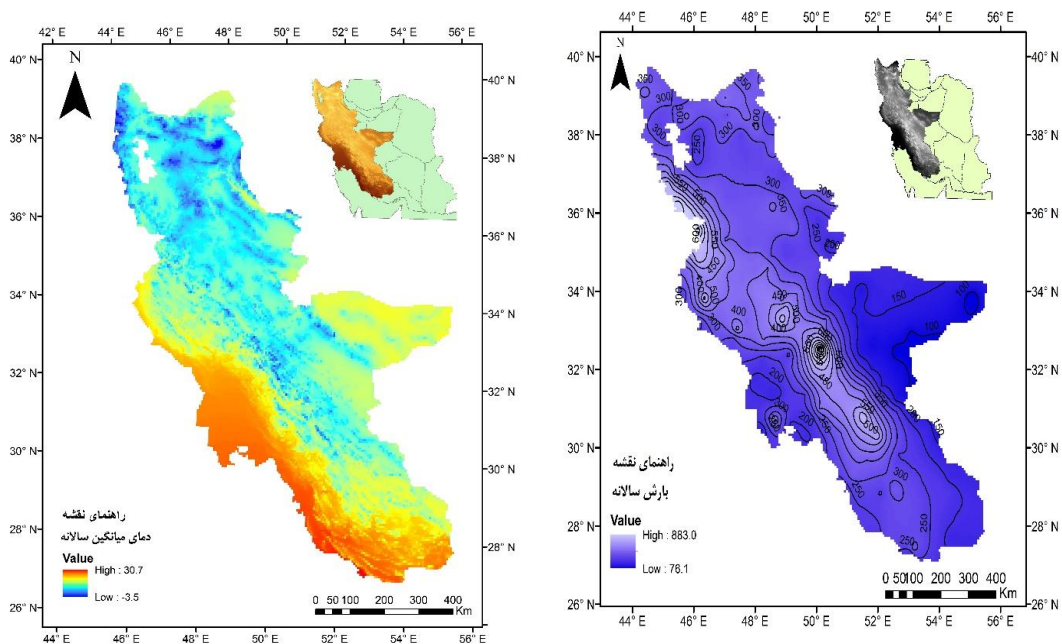


شکل ۳. موقعیت ایستگاه‌های هم‌دید مورد استفاده

برای تهیه نقشه دمای محدوده مورد مطالعه، بین دماهای میانگین سالیانه و میانگین فصول تابستان و زمستان ایستگاه‌ها و دو متغیر عرض جغرافیایی و ارتفاع رگزیون دومتغیره گرفته شد. نتایج نشان داد بین دمای ایستگاه‌ها و دو متغیر یادشده همبستگی بالایی وجود دارد (جدول ۱). بنابراین معادله‌های خط وایزی برای ایجاد نقشه دمای محدوده مورد مطالعه در دوره‌های یادشده در نرم‌افزار GIS با استفاده از لایه‌های DEM با دقت ۳۰ متر استفاده و نقشه‌های دما مطابق شکل ۲ ترسیم شد. طبق این معادله‌ها با افزایش ۱ درجه عرض جغرافیایی دمای هوا به طور متوسط ۱ درجه کاهش می‌یابد (در زمستان بیشتر از ۱ و در تابستان کمتر از ۱ درجه سانتی‌گراد) و به ازای افزایش ۱۰۰ متر ارتفاع دمای هوا حدود ۰/۵۵ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد.

جدول ۱. روابط همبستگی بین دو متغیر ارتفاع و عرض جغرافیایی با دماهای میانگین سالانه و دمای میانگین فصول تابستان و زمستان

معادله خط و ابازی	ضریب همبستگی R	دوره	ردیف
$Y = -0.9439 * Y_{cordinte} - 0.00557 * elevation + 56.537$	۹۵	سالانه	۱
$Y = -1.067 * Y_{cordinte} - 0.00537 * elevation + 48.677$	۹۷	زمستان	۲
$Y = -0.837 * Y_{cordinte} - 0.00551 * elevation + 64.58$	۹۱	تابستان	۳



شکل ۴. دما و بارش سالانه محدوده مورد مطالعه

برای تهیه نقشه بارش محدوده مورد مطالعه (شکل ۴) از داده‌های ۱۹۵ ایستگاه هم‌دید غرب کشور و از روش کربجینگ استفاده شد؛ که پس از مقایسه مقادیر داده‌های واقعی با داده‌های بازسازی شده برای ایستگاه‌ها (جدول ۲) نشان داد نسبت به روش میان‌یابی IDW از دقت بالاتری برخوردار است.

جدول ۲. ویژگی‌های آماری دو روش کریجینگ و IDW برای تهیه نقشه هم‌بارش

ردیف	دوره	روش کریجینگ		روش IDW	
		ضریب همستگی R	RMSE (mm)	ضریب همستگی R	RMSE (mm)
۱	سالیانه	۰/۷۱	۹۰/۱	۰/۵۶	۹۸/۱
۲	زمستان	۰/۷۷	۴۰/۲	۰/۵۷	۴۶/۳
۳	تابستان	۰/۶۱	۱۶/۸	۰/۶۰	۱۶/۴
۴	ماه ژانویه	۰/۷۵	۱۵/۱۳	۰/۶۰	۱۷/۰
۵	ماه ژوئیه	۰/۶۴	۳/۹	۰/۴۸	۴/۰

داده‌های اقلیمی دمای سالیانه، دمای تابستان، دمای زمستان، بارش سالیانه، بارش تابستان، بارش بهار برای هر یک از نمونه‌های سطحی استخراج و تفسیر شد. خلاصه آماری این داده‌ها در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. خلاصه متغیرهای محیطی در ۱۱۹ موقعیت نمونه‌برداری سطحی

کد	عنصر اقلیمی	کمینه	بیشینه	میانگین	مد	انحراف معیار
۱	ارتفاع	۱۵۰	۴۱۳۰	۱۳۴۷	۱۳۰۰	۶۵۲/۱۹
۲	دمای میانگین سالیانه	۲/۱	۲۵/۹۴	۱۶/۸۴	۱۶۲۰	۴/۲۳
۳	دمای میانگین تابستان	۱۳/۹	۳۷/۳۹	۲۸/۶	۲۷/۸۴	۴/۱
۴	دمای میانگین زمستان	-۹/۱	۱۴/۱۸	۵/۰۴	۴/۵	۴/۲۳
۵	بارش میانگین سالیانه	۲۰۳/۲	۷۴۸/۷	۴۳۹/۳	۴۰۸/۶	۱۳۳/۷
۶	بارش میانگین زمستان	۴۶/۲	۳۸۴/۲	۱۹۱/۴۵	۱۷۴/۸	۹۱/۰۴
۷	بارش میانگین تابستان	۱/۱	۵۳/۹	۳/۹۱	۱/۷	۷/۵۳
۸	بارش میانگین بهار	۶۷/۳	۱۸۰/۵	۱۳۷/۲۶	۱۳۳/۲	۲۷/۰۹

روش مورد استفاده برای بازسازی کمی

برای بازسازی متغیرهای اقلیمی در این مطالعه از روش MAT^1 استفاده شد. تکنیک مشابهت معاصر روشی برای بازسازی یک پارامتر محیطی گذشته با استفاده از اجتماع جانداران است. این روش میان مجموعه داده‌های نمونه‌های سطحی می‌کوشد نمونه‌هایی را بیابد که کمترین عدم تشابه را بین گرده نمونه فسیل و نمونه جدید داشته باشد. این روش سپس میانگین اقلیم وابسته به این نمونه‌های جدید را به نمونه گرده فسیل نسبت می‌دهد (بارتلین و همکاران ۲۰۱۱).

غربالگری داده‌ها

برای حذف اثر ارتباط خطی بین متغیرهای محیطی در فرایند تحلیل، عامل تورم واریانس (VIF^2) برای هر یک از

1. modern analog technique
2. variance inflation factors

متغیرهای محیطی آزمون شد. چنانچه VIF بین دو متغیر بالاتر از ۱۰ باشد، فرض بر این است که این دو متغیر با یکدیگر ارتباط کاملاً خطی دارند و بنابراین یکی از آن‌ها در تحلیل‌ها حذف می‌شود (تر بریک ۱۹۸۸). با توجه به مقادیر جدول ۴، ارتباط خطی بین دمای سالیانه و دمای تابستان و زمستان بسیار بالاست. بنابراین از سه پارامتر فقط یکی از آن‌ها (دمای سالیانه) در تحلیل‌ها استفاده می‌شود. همچنین ارتباط بین بارش سالیانه و بارش فصل زمستان بالاست و بنابراین بارش سالیانه و بارش بهار برای بازسازی انتخاب شد.

جدول ۴. عامل تورم واریانس بین ۸ متغیر محیطی

	ELV	MAT	MST	MWT	MAP	MWP	MSP	MSPP
ELV	۱	*	*	*	*	*	*	*
MAT	۶/۹۳	۱	*	*	*	*	*	*
MST	۸/۱۳	۸۵۳/۳۷	۱	*	*	*	*	*
MWT	۵/۵۸	۱۴۰/۹۳	۱۴۰/۹۳	۱	*	*	*	*
MAP	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۰۴	۱/۰۵	۱	*	*	*
MWP	۱/۰۱	۱/۰۱	۱/۰۱	۱/۰۱	۱۱/۹	۱	*	*
MSP	۱/۱	۱/۱۸	۱/۱	۱/۱۸	۱/۰۳	۱/۱	۱	*
MSPP	۱/۰۹	۱	۱	۱/۲۵	۲/۱۵	۱/۵۳	۱	۱

استفاده از داده‌های گرده یک مغزه رسوبی برای بازسازی

پس از بررسی ارتباط بین داده‌های گرده‌ای معاصر با عناصر اقلیمی و انتخاب عناصری که بیشترین تأثیر را بر پراکنش گرده‌ها دارند، این روابط به داده‌های گرده‌ای گذشته، استخراج‌شده از رسوبات این منطقه، تعمیم داده می‌شود. دریاچه زربار در بخش داخلی کوه‌های زاگرس و نزدیک شهر مریوان قرار دارد. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۰۰ متر است. چندین جریان نسبتاً کوچک آب از شیب‌های اطراف دریاچه به آن وارد و سرریز آن از جنوب غرب دریاچه خارج می‌شود. اندازه دریاچه تقریباً ۵ در ۳ کیلومتر و عمق آن ۴ تا ۵ متر است (واسیلیکوا^۱ و همکاران ۲۰۰۶) و اطراف دریاچه به وسیله نزارها نزارها محاصره شده است. میانگین بارش ایستگاه مریوان ۸۰۲ میلی‌متر در سال و میانگین دمای ماه‌های ژانویه و ژوئیه به ترتیب ۰/۲ و ۲۶/۴ درجه سانتی‌گراد است.

این دره و همچنین بخش‌های پایین رسوبات ابرفتی گسترده به شدت زیر کشت هستند. جنگل‌های بلوط در تپه‌های اطراف حوضه بر اثر چرا و قطع درختان تنک و ضعیف شده‌اند (ون زیست و بوتما ۱۹۷۷) و اطراف شهر مریوان فقط پوشش گیاهی درختچه‌ای باقی مانده است.

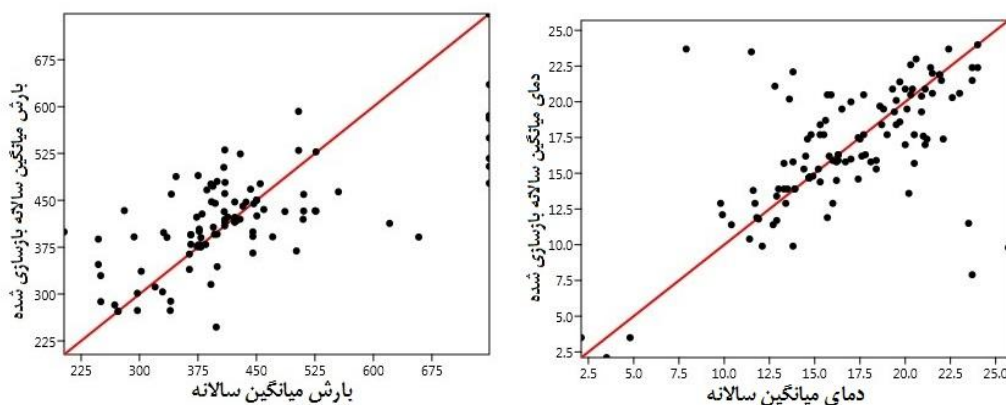
رایت در سال ۱۹۶۳، مغزه J-63 زربار با طول ۲۵ متر را از حاشیه غربی دریاچه برداشت کرد و پس از گرده‌شناسی بر آن نتیجه را انتشار داد. این مغزه را در سال ۲۰۰۶ واسیلیکوا و همکارانش در پژوهشی با عنوان «خاک‌شناسی دیرینه

دریاچه زریبار ایران و استنباط آب‌وهوایی» بررسی و نتایج سن‌سنجی‌هایی را که در گذشته به روش کربن ۱۴ روی آن انجام شده بود منتشر کردند. سن‌سنجی‌ها نشان می‌دهد این مغزه از ۲۲۵۰۰ سال پیش تا دوران کنونی را پوشش می‌دهد. نموداری که برای این مغزه منتشر شده فقط گرده‌هایی را به تصویر کشیده است که برای بحث در زمینه پوشش گیاهی منطقه‌ای در کواترنر پسین و استنباط اقلیمی آن اهمیت دارد (ون زیست ۱۹۶۷). نتایج و نمودار گرده‌ای منتشرشده این مغزه برای تعمیم روابط اقلیم-گرده دوره معاصر به آن مورد استفاده قرار گرفت.

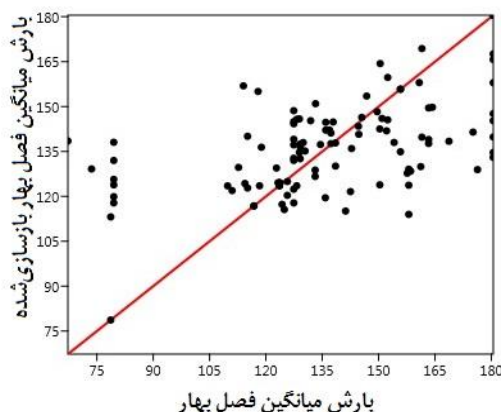
یافته‌ها و بحث

قابلیت تابع انتقال برای بازسازی متغیرهای اقلیمی

در این پژوهش از مدل MAT در نرم‌افزار PAST به منزله تابع انتقال محیطی استفاده شد. مقادیر R^2 و RMSEP بین پیش‌بینی‌ها به وسیله مجموعه‌های کالیبراسیون کرده-اقلیم با داده‌های هواشناسی دوره کنونی برای دمای میانگین سالیانه ($R^2=0.6$ و $RMSEP=3.47$ C)، بارش میانگین سالیانه ($R^2=0.79$ و $RMSEP=82.74$ mm)، و بارش میانگین فصل بهار ($R^2=0.64$ و $RMSEP=21.05$ mm) است (شکل ۵). این همبستگی‌های آماری قابلیت این مجموعه داده‌ها را برای بازسازی اقلیم گذشته نشان می‌دهد. مقایسه متغیرهای مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده نشان می‌دهد کاربرد این مدل به طور معمول برای تعداد محدودی از نمونه‌ها ضعیف عمل می‌کند. این ضعف را می‌توان با استفاده از روش‌های غربالگری نمونه‌های خارج از محدوده بیضی ۹۵ درصد برطرف کرد. همچنین روش MAT را می‌توان با استفاده از میانگین وزن‌دهی به روش‌های وزن‌دهی برابر، وزن‌دهی معکوس عدم تشابه، و وزن‌دهی به روش رتبه‌بندی معکوس چندین نمونه مشابه برای کاهش اثر داده‌های با مقادیر باقی‌مانده بالا به کار گرفت.



شکل ۵. دما و بارش میانگین سالیانه و فصل بهار نقاط نمونه‌برداری شده و بازسازی شده



ادامه شکل ۵. دما و بارش میانگین سالانه و فصل بهار نقاط نمونه برداری شده و بازسازی شده

به کارگیری توابع انتقال برای بازسازی کمی مغزه فسیل دریاچه زریبار

در پایین‌ترین بخش نمودار طیف گرده‌های فسیل دریاچه زریبار با درصد بالای گرده‌های اسفناجیان^۱ (۶۰٪) و گرده‌های درمنه^۲ (۴۰٪) مشخص است؛ درحالی‌که در این بخش گرده درختان وجود ندارد. این بخش، که طبق سن‌سنجی رادیوکربن هم‌زمان با اواخر آخرین یخبندان دوره کواترنر است، می‌تواند با ترکیب گرده‌ای سطحی نمونه‌های استپ‌های درمنه شمال غربی ایران مطابقت داشته باشد (ون زیست ۱۹۶۷).

تعداد گرده‌های چتریان^۳ در قسمت فوقانی زون A-1 قابل توجه است. درصدهای بالا برای این جنس، که از طریق حشرات گرده‌افشانی می‌کند، نشان می‌دهد چتریان نقش مهمی در پوشش گیاهی شیب‌های اطراف دریاچه داشته است (ون زیست ۱۹۶۷؛ ژو و همکاران ۲۰۱۶).

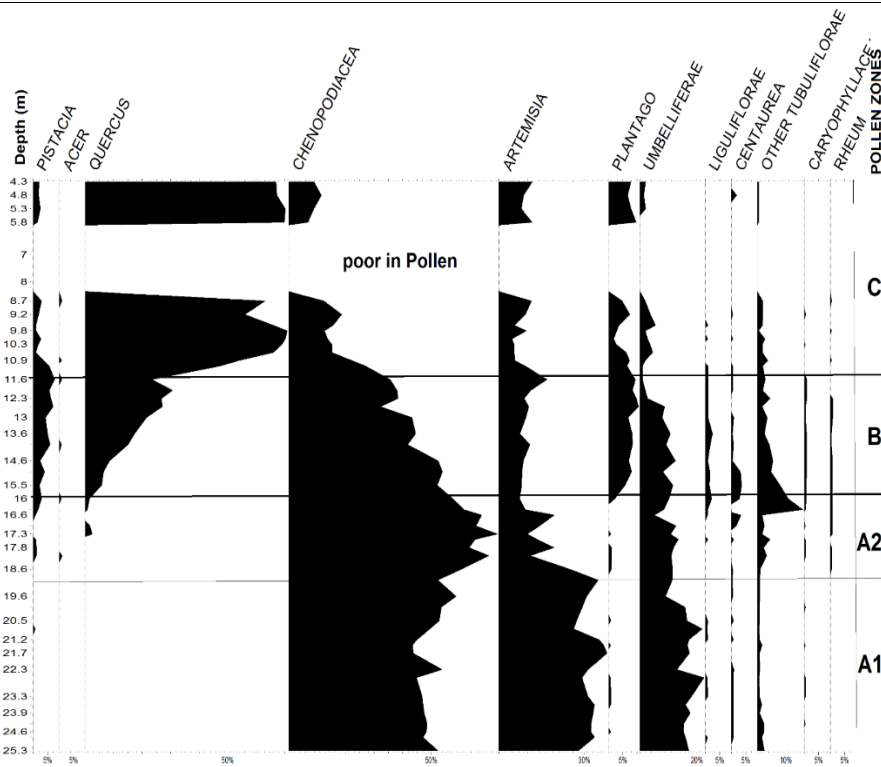
در عمق‌های بین ۱۸ و ۱۹ متر، گرده‌های درمنه از ۴۰ درصد تا حدود ۱۵ درصد کاهش می‌یابد؛ درحالی‌که منحنی گرده اسفناجیان به طور مشخص افزایش می‌یابد. در این بخش گرده‌های درختان همچنان بسیار کم است. افزایش در اسفناجیان می‌تواند به سبب افت‌وخیز سطح دریاچه باشد که برای گسترش محلی آن‌ها مطلوب است. از طرف دیگر، ممکن است منعکس‌کننده تغییرات منطقه‌ای در پوشش گیاهی باشد. به طور خلاصه می‌توان گفت استپ درمنه از مشخصه‌های استپ بیابانی است (ون زیست ۱۹۶۷).

در عمق ۱۸ متر، تعداد کمی گرده‌های درختی وجود دارد. اما تا عمق ۱۶/۵ متری گرده‌های درختی همچنان بسیار کم است. می‌توان پوشش گیاهی آن زمان را با پوشش گیاهی پیشنهادی بوبک (۱۹۵۱) و زوهری (۱۹۶۳) برای بخش‌های داخلی ایران، که از استپ درمنه پوشیده است، و پوشش گیاهی ساوان پسته-بادام، یعنی پوشش گیاهی غالب کوهستان‌های فلات داخلی ایران، مقایسه کرد. در این عمق، پوشش گیاهی اصلی زریبار استپ بوده است؛ درحالی‌که درختان پراکنده در مناطقی که باران بیشتری دریافت می‌کرده روئیده است (ون زیست ۱۹۶۷).

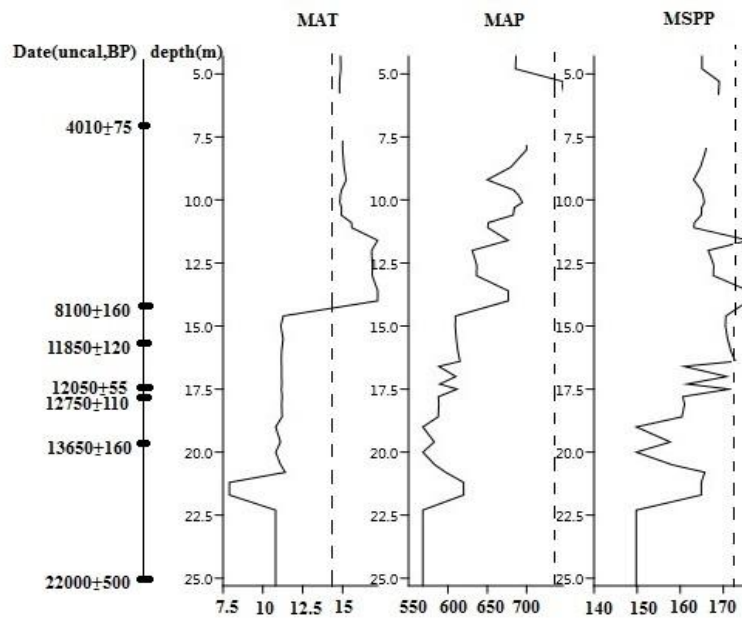
1. *chenopodioidae*
2. *artemisia*
3. *umbelliferous*

بالای ۱۶/۵ متری، درصد گرده‌های درختی افزایش نشان می‌دهد. به علاوه، در عمق ۱۵/۵ متری مقادیر بارهنگ^۱ حدود ۱۰ درصد است. این درصد گرده‌های بارهنگ به میزان قابل توجهی بیشتر از مقادیر نمونه‌های سطحی فلات ایران است. در عمق‌های بین ۱۱/۵ و ۱۰/۵ متر یک افزایش با شیب تند در درصد گرده‌های بلوط رخ داده است و این بدان معناست که جنگل بلوط، که امروزه پوشش گیاهی غالب بخش‌های زیادی از رشته‌کوه زاگرس است، جایگزین پوشش گیاهی ساوان شده است. در بخش فوقانی نمودار (زون C) درصد گرده‌های درختی نسبتاً بالا مانده است و نشان‌دهنده آن است که از ۵۵۰۰ سال پیش تا کنون تغییر بزرگی در پوشش گیاهی رخ نداده است (ون زیست ۱۹۶۷).

با تعمیم روابط بین عناصر اقلیمی و ترکیب‌های گرده‌ای معاصر به نمودار گرده دریاچه زریبار در همه عمق‌ها با استفاده از مدل MAT، بازسازی‌های کمی دمای میانگین سالیانه و بارش میانگین سالیانه و بارش میانگین فصل بهار مطابق شکل ۷ انجام شد. با توجه به این شکل، در اواخر دوره آخرین یخبندان کره زمین، دمای هوا در این منطقه به طور متوسط ۴ تا ۵ درجه کمتر از دوران کنونی بوده است. همچنین، بارش سالیانه و فصل بهار به طور متوسط ۲۰ درصد کمتر از دوران کنونی بوده است. با شروع دوره هولوسن افزایش قابل توجهی در دمای هوا دیده می‌شود؛ طوری که دمای هوا در هولوسن پیشین ۱ تا ۲ درجه بیشتر از دوران کنونی بوده است. این در حالی است که بارش سالیانه به صورت تدریجی افزایش یافته است و در هولوسن پیشین، با وجود بالاتر بودن دما، مقدار بارش سالیانه از دوران کنونی کمتر بوده است. نکته قابل توجه این است که بارش فصل بهار در هولوسن پیشین مقداری بالاتر از دوره کنونی بوده است. در هولوسن میانی از دمای هوا حدود دو درجه کاسته شده است و این وضعیت با افت‌وخیز کم تقریباً تا دوران کنونی ثابت مانده است. در هولوسن میانی و هولوسن پسین بارش نسبت به هولوسن پیشین ۱۰ تا ۱۵ درصد افزایش داشته و این وضعیت تا دوران کنونی تقریباً حفظ شده است.



شکل ۶. نمودار گرده مغزه 63J دریاچه زریبار (ون زیست ۱۹۶۷)



شکل ۷. سری‌های زمانی بازسازی شده دمای میانگین سالیانه (MAT)، بارش میانگین سالیانه (MAP)، و بارش میانگین فصل بهار (MSPP) برای سال اخیر بر اساس نمودار گرده مغزه 63J (ون زیست ۱۹۶۷) دریاچه زریبار در غرب ایران. خط‌چین‌های عمودی مقادیر میانگین داده‌های هواشناسی دوره کنونی در دریاچه زریبار را نشان می‌دهد.

خطاهای پیش‌بینی و علل آن

خطاهای پیش‌بینی توابع انتقال کرده- آب‌وهوا، که در این پژوهش محاسبه شد، برای دمای سالیانه $RMSEP=3.74$ که $15/5$ درصد از دامنه MAT ، برای بارش سالیانه $RMSEP=82.74$ که $15/1$ درصد از دامنه MAP ، و برای بارش فصل بهار $RMSEP=21.1$ که $18/6$ درصد از دامنه $MSPP$ است.

عواملی وجود دارد که می‌تواند بر خطاهای پیش‌بینی داده‌های کالیبراسیون تأثیر بگذارد. از این عوامل می‌توان توپوگرافی منطقه را نام برد که بر دما و بارش مناطق نمونه‌برداری تأثیر می‌گذارد؛ مثلاً دمای شیب‌های شمالی با شیب‌های جنوبی متفاوت است. اما در این پژوهش برای تعیین دمای مناطق نمونه‌برداری فقط دو عامل ارتفاع و عرض جغرافیایی در نظر گرفته شد. همچنین برای تعیین بارش مناطق نمونه‌برداری از روش‌های میان‌یابی استفاده شده است که این روش‌ها نیز مقداری خطا دارد. علاوه بر موارد یادشده اثر انسانی بر پوشش گیاهی را می‌توان عاملی تأثیرگذار بر پوشش گیاهی در نظر گرفت که بسیاری از بازسازی‌های آب‌وهوایی بر پایه‌ی کرده را با مشکل مواجه می‌کند. گفتنی است تعداد کم نمونه‌ها هم مقدار خطای پیش‌بینی را افزایش می‌دهد.

روابط رطوبت- دما در بازسازی‌های اقلیمی

الگوهای زمانی تغییرات دما و بارش در یک منطقه می‌تواند آگاهی ما را در زمینه سازوکارهای واداشت- اقلیم افزایش دهد. بیشتر مطالعات انجام‌شده در غرب ایران و رشته‌کوه زاگرس آب‌وهوای هولوسن پیشین را گرم و خشک و آب‌وهوای هولوسن میانی را گرم و مرطوب معرفی کرده‌اند (صفایی‌راد و همکاران ۱۳۹۳؛ داودی و همکاران ۱۳۹۳). اهمیت این یافته‌ها تحت تأثیر مشکل تمایز بین علائم و نشانه‌های دما و بارش در داده‌های رسوبات است. تمایز اینکه آیا دمای بالا و در نتیجه افزایش نسبت تبخیر- بارش باعث خشکی آب‌وهوا در هولوسن پیشین شده است یا کمبود بارش باعث خشکی آب‌وهوا شده است به صورت یک مشکل در این پژوهش‌ها وجود دارد. این پژوهش نشان داد هولوسن پیشین گرم‌ترین دوره بوده است و همچنین در این دوره مقدار بارش نسبت به سایر دوره‌های هولوسن کمتر بوده است. بنابراین در این دوره نسبت تبخیر- بارش بالاتر از سایر دوره‌ها بوده و در نتیجه شرایط رطوبتی کافی برای رشد درختانی مانند بلوط در منطقه وجود نداشته است. در هولوسن میانی مقداری از دمای هوا کاسته شده و از طرفی بارش در این دوره با افزایش همراه بوده است. این شرایط باعث کاهش نسبت تبخیر- بارش و در نتیجه افزایش رطوبت و بهبود شرایط برای رشد درختان در منطقه شده است. در هولوسن پایانی، با وجود روند تقریباً ثابت در دمای هوا تا دوره کنونی، یک افزایش در مقدار بارش در ابتدای این دوره مشاهده می‌شود.

عدم قطعیت‌ها در روابط کرده- اقلیم و بازسازی‌های کمی

در برخی پژوهش‌ها به مشکلات بازسازی گذشته پوشش گیاهی و آب‌وهوا با استفاده از داده‌های گرده‌ای در مناطق کوهستانی اشاره شده است (چدادی و همکاران ۱۹۹۷؛ ارتو^۱ و همکاران ۲۰۰۶). طبق این پژوهش‌ها، از مواردی که باعث

ایجاد خطا و انحراف در ترکیب گرده‌ها می‌شود تولید مقادیر مختلف گرده توسط گیاهان، انتقال، حفظ گرده‌ها و اثر انسانی است؛ مثلاً انتقال گرده‌ها توسط باد به مناطق بالادست کوهستان و انتقال آن‌ها به مناطق پایین دست توسط جریان آب از مواردی است که باعث پیچیدگی روابط بین پوشش گیاهی و درصد گرده‌ها و در نهایت باعث پیچیده‌تر شدن روابط گرده-آب‌وهوا می‌شود.

از موارد پیچیدگی استخراج روابط گرده- محیط شباهت ظاهری گرده‌های بسیاری از گونه‌ها و جنس‌هاست. این موضوع موجب مشکل در تشخیص گرده‌ها و در نتیجه تفکیک‌پذیری تاکسونومی پایین (در سطح خانواده یا جنس) در گرده‌شناسی می‌شود. این تفکیک‌پذیری تاکسونومی پایین سبب مشکل استخراج دقیق شرایط آب‌وهوایی منطبق با گونه‌های مهم و افزایش خطای بالقوه در مدل‌های آب‌وهوایی بر پایه گرده‌شناسی می‌شود.

به دلیل همه عوامل عدم قطعیت یادشده، بازسازی آب‌وهوا با استفاده از گرده‌ها احتمالاً برای مقیاس‌های زمانی فصلی یا سالیانه از دقت کافی برخوردار نباشد. اما هنگامی که مطالعات استراتیگرافیکی-گرده با دقت طراحی و انجام می‌شود قابلیت فراهم کردن اطلاعات قابل اعتماد درباره روندهای کلی آب‌وهوایی و مقیاس‌های زمانی هزاره، سده‌ای، و دهه‌ای را دارند.

بازسازی‌های کمی نمی‌توانند همه الگوهای آب‌وهوایی گذشته را شامل شوند؛ به‌ویژه اگر پوشش گیاهی گذشته و نمونه‌های گرده تحت تأثیر متغیرهای آب‌وهوایی‌ای قرار گرفته باشند که در مجموعه‌های کالیبراسیون معاصر وجود نداشته باشند (مک‌دونالد^۱ و ادوارد ۱۹۹۱). بنابراین نمونه‌های بیشتر از مناطق متفاوت، به‌ویژه مناطق خشک‌تر یا مرطوب‌تر و همچنین مناطق سردتر یا گرم‌تر، باید برداشت شود. هنگام استفاده از این توابع انتقال برای بازسازی آب‌وهوای گذشته باید به برخی ملاحظات توجه کرد؛ مثلاً تفاوت ترکیب دانه‌های گرده در محیط‌های رسوبی متفاوت را در بازسازی محیط گذشته، با استفاده از رسوبات دریاچه‌ای، نباید نادیده گرفت (یانگ^۲ و سودری ۲۰۱۰).

به طور کلی، تغییراتی که انسان در محیط ایجاد می‌کند باعث می‌شود پوشش گیاهی‌ای ایجاد شود که شرایطی خشک‌تر از آنچه در واقع وجود دارد را شبیه‌سازی کند (میه^۳ و همکاران ۲۰۰۶). ترکیب توابع انتقال با یک مدل جامع تأثیر انسانی می‌تواند یک اندازه‌گیری قابل اعتماد و جدید برای کاهش خطا در روابط گرده-محیط ارائه کند.

نتیجه

بازسازی کمی در مناطق مختلف نیازمند شناخت رابطه بین ترکیب‌های گرده‌ای و متغیرهای اقلیمی و سپس تفسیر گرده‌های فسیل بر اساس روابط بین آن‌هاست. بدین منظور تعداد قابل قبولی از نمونه‌ها در مناطق متفاوت، به‌ویژه مناطق خشک‌تر یا مرطوب‌تر و همچنین مناطق سردتر یا گرم‌تر، باید برداشت شود.

آزمون غربالگری داده‌های محیطی نشان داد متغیرهای دمای میانگین سالیانه و دمای میانگین فصول تابستان و زمستان ارتباط خطی قوی با یک‌دیگر دارند و بنابراین در تفسیرها فقط دمای میانگین سالیانه مورد استفاده قرار گرفت.

1. MacDonald
2. Yang
3. Mieh

همچنین میانگین بارش سالیانه با میانگین بارش فصل زمستان ارتباط خطی قوی دارد. بنابراین از میان آن‌ها فقط میانگین بارش سالیانه در تفسیرها بررسی شد.

توابع انتقال کمی برای برآورد متغیرهای آب‌وهوایی بارش میانگین سالیانه (MAP)، بارش میانگین فصل بهار (MSPP)، و دمای میانگین سالیانه (MAT) با استفاده از ترکیب گرده‌های خاک سطحی و روش مشابهت معاصر (MAT) ایجاد شد. روابط معناداری بین متغیرهای محیطی دمای میانگین سالیانه، بارش میانگین سالیانه، و بارش میانگین فصل بهار با بازسازی این متغیرها بر اساس ترکیب‌های گرده‌ای وجود دارد و نشان داد گرده‌ها قابلیت برآورد کمی تغییرات محیطی گذشته در رشته‌کوه زاگرس و غرب ایران را دارند. از بین این متغیرها، بارش میانگین سالیانه بازسازی‌شده ارتباط معنادارتری با بارش میانگین سالیانه دارد و نسبت به سایر متغیرها قابلیت بهتری برای بازسازی کمی دارد.

توابع انتقال ایجادشده برای بازسازی کمی متغیرهای اقلیمی با استفاده از یک رکورد گرده‌ای از رسوبات دریاچه زریبار در غرب ایران به کار برده شد. برای مقایسه ترکیب گرده‌ای نمونه‌های فسیل با نمونه‌های معاصر و یافتن نمونه‌های مشابه‌تر بین آن‌ها، در روش مشابهت معاصر، شمارش گونه‌های متنوع گرده در نمونه‌های فسیل می‌تواند دقت کار را افزایش دهد.

پژوهش‌های انجام‌شده در زاگرس میانی و جنوبی نشان می‌دهد در دوره یخبندان آخر پوشش گیاهی از نوع استپ اسفناجیان- درمنه بوده است. این نوع پوشش گیاهی نشان‌دهنده حاکمیت شرایط آب‌وهوایی سرد و خشک در منطقه بوده است (صفایی‌راد و همکاران ۱۳۹۳؛ داودی و همکاران ۱۳۹۳؛ ون زیست ۱۹۶۷). نتایج بازسازی کمی این پژوهش نشان داد در دوره یخبندان آخر دمای هوا در این منطقه ۴ تا ۵ درجه سردتر و مقدار بارش نیز ۲۰ درصد کمتر از دوران کنونی بوده است. با شروع دوره هولوسن به تدریج پوشش گیاهی گندمیان و درختان بنه و بادام شروع به رشد کرده‌اند و از طرفی با کاهش گیاهان آبی همراه بوده است که نشان‌دهنده شرایط گرم و خشک در منطقه است (داودی و همکاران ۱۳۹۳). نتایج این پژوهش تأییدکننده این مطالب است. زیرا بازسازی کمی برای هولوسن پیشین دمای هوا را ۱ تا ۲ درجه بیشتر و بارش را ۱۰ درصد کمتر از دوران کنونی نشان می‌دهد. همچنین پژوهش‌های انجام‌شده نشان‌دهنده ثبات نسبی پوشش گیاهی از اواخر هولوسن میانی تا دوره کنونی در منطقه است (صفایی‌راد و همکاران ۱۳۹۳؛ داودی و همکاران ۱۳۹۳؛ ون زیست ۱۹۶۷). در هولوسن میانی دمای هوا به اندازه کم و تقریباً ۰/۵ تا ۱ درجه بیشتر از دوره کنونی و بارش تقریباً مشابه دوره کنونی بوده است. از اواخر هولوسن میانی و ابتدای هولوسن پسین تا کنون وضعیت اقلیمی با افت‌وخیز کمتری همراه بوده است.

منابع

داودی، محمود؛ قاسم عزیزی؛ مهران مقصودی (۱۳۹۳). «بازسازی تغییرات آب‌وهوایی هولوسن در زاگرس جنوبی: شواهد گرده‌شناسی و زغال در رسوبات دریاچه پریشان»، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، س ۳، ش ۱، صص ۶۵-۷۹.

صفایی‌راد، رضا؛ قاسم عزیزی؛ حسین محمدی؛ حمید علی‌زاده لاهیجانی (۱۳۹۳). «بازسازی تغییرات اقلیمی هولوسن و

پلستوسن پسین منطقه زاگرس میانی با استفاده از شواهد گرده‌شناسی تالاب هشیلان»، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ش ۱۱، صص ۱-۱۹.

مسعودیان، ابوالفضل (۱۳۹۰). *آب‌وهوای ایران*، مشهد، شریعۀ توس.

- Atkinson, T.C., Briffa, K. R., & Coope, G.R. (1987). "Seasonal temperatures in Britain during the last 22,000 years, reconstructed using beetle remains", *Nature*, No. 325, pp. 587-593.
- Bartlein, P. J., Prentice, I. C., & Webb III, T. (1986). "Climate response surfaces from pollen data for some eastern North American taxa", *J. Biogeogr*, 13, pp. 35-57.
- Bartlein, P. J., Harrison, S. P., Brewer, S., Connor, S., Davis, B. A. S., Gajewski, K., Guiot, J., Harrison-Prentice, T. I., Henderson, A., Peyron, O., Prentice, I. C., Scholze, M., Seppa, H., Shuman, B., Sugita, S., Thompson, R. S., Viau, A. E., Williams, J., Wu, H. (2011). "Pollen-based continental climate reconstructions at 6 and 21 ka: a global synthesis", *Clim Dyn*, 37, pp. 775-802.
- Bartlein, P. J., Webb III, T., & Fleri, E. (1984). "Holocene climatic change in the northern Midwest: Pollen derived estimates", *Quat. Res*, 22, pp. 361-374.
- Birks, HJB. (1995). "Quantitative paleoenvironmental reconstructions. In: Edwards D, Maddy D and Brew JS (eds) Statistical Modeling of Inary Science Data", *Quaternary Research Association*, pp. 161-254.
- Bjune, AE., Seppä, H., & Birks, HJB. (2009). "Quantitative summer-temperature reconstructions for the last 2000 years based on pollen-stratigraphical data from northern Fennoscandia", *Journal of Paleolimnology*, 41, pp. 43-56.
- Bonnefille, R. & Chalief, F. (2000). "Pollen-inferred precipitation time-series from equatorial mountains, Africa, the last 40 kyr B. P.", *Global Planet. Change*, 26, pp. 25-50.
- Bradley, R. S. (2012). "Paleoclimatology: reconstructing climates of the Quaternary", Third ed. Cheddadi, R., Lamb, H. F., Guiot, J., & van der Kaars, S. (1998). "Holocene climatic change in Morocco: A quantitative reconstruction from pollen data", *Climate Dyn*, 14, pp. 883-890.
- Cheddadi, R., Yu, G., Guiot, J., Harrison, S.P., & Prentice, I.C. (1997). "The climate of Europe 6000 years ago", *Climate Dynamics*, 13, pp. 1-9.
- Clements, F.E. (1905). *Research methods in ecology*, University Pub, Co. p. 365.
- Cook, E. & Kaars, S.V.D. (2006). "Development and testing of transfer functions for generating quantitative climatic estimates from Australian pollen data", *Journal of Quaternary Science*, 21, pp. 723-733.
- Davoudi, M., Azizi, Gh., & Maghsoudi, M. (2014). "Reconstruction of Holocene climate change in the South Zagros: Pollen and coal evidence in Parishan". *Quantitative geomorphological research*. Vol 3, No 1. pp 65-79.
- Djamali, M., Akhiani, H., Khoshravesh, R., Andrieu-Ponel, V., Ponel, P., & Brewer, S. (2011). "Application of the global bioclimatic classification to Iran: implications for understanding the modern vegetation and biogeography", *Ecol Mediterr*, 37, pp. 91-114.
- Djamali, M., Beaulieu, J., Ponel, V. A., Berberian, M., Miller, N., Gandouin, E., Lahijani, H., Shah-Hosseini, M., Ponel, Ph., Salimian, M., Guiter, F. (2009). "A late Holocene pollen record from Lake Almalou in NW Iran: evidence for changing land-use in relation to some historical events during the last 3700 years", *Journal of Archaeological Science*, No. 36, pp. 1364-1375.

- Djamali, M., de Beaulieu, J-L., Shah-Hosseini, M., Andrieu-Ponel, V., Amini, A., Akhiani, H., Leroy, S.A.G., Stevens, L., Alizadeh, H., Ponel, P., & Brewer, S. (2008). "An Upper Pleistocene long pollen record from the Near East, the 100 m-long sequence of Lake Urmia, NW Iran", *Quat. Res*, No. 69, pp. 413-420.
- Erdtman, G. (1969). *Handbook of Palynology: Morphology, Taxonomy, Ecology*, Munksgaard, Copenhagen.
- Faegri, K. & Iversen, J. (1975). *Textbook of Pollen Analysis*, third ed, Hafner Press, New York.
- Finsinger, W., Heiri, O., Verushka, V., Tinner, W., & Lotter, AF. (2007). "Modern pollen assemblages as climate indicators in southern Europe", *Global Ecology and Biogeography*, 16, pp. 567-582.
- Fletcher, M-Sh. & Thomas, I. (2010). "A quantitative Late Quaternary temperature reconstruction from western Tasmania, Australia", *Quaternary Science Reviews*, 29, pp. 2351-2361.
- Frechette, B., Vernal, A., Guiot, J., Wolfe, A.P., Miller, G.H., Fredskild, B., Kerwin, M.W., & Richard, P.J.H. (2008). "Methodological basis for quantitative reconstruction of air temperature and sunshine from pollen assemblages in Arctic Canada and Greenland", *Quaternary Science Reviews*, 27, pp. 1197-1216.
- Frey, W. & Probst, P. (1986). "A synopsis of the vegetation of Iran In: Kiirschner H. (Ed) Contributions to the Vegetation of Southwest Asia", *Dr. Ludwig Reichert Verlag*, pp. 9-43.
- Guiot, J. (1990). "Methodology of the last climatic cycle reconstruction in France from pollen data", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 80, pp. 49-69.
- Hedge, IC. & Wendelbo, P. (1978). "Patterns of distribution and endemism in Iran", *Notes from the Royal Botanic Garden Edinburgh*, 36, pp. 441-464.
- Heiri, O., Lotter, A.F., Hausmann, S., & Kienast, F. (2003). "A chironomid- based Holocene summer air temperature reconstruction from the Swiss Alps", *Holocene*, 13, pp. 477-484.
- Herzschuh, U., Kramer, A., Mischke, S., & Zhang, C.J. (2009). "Quantitative climate and vegetation trends since the late glacial on the northeastern Tibetan Plateau deduced from Koucha Lake pollen spectra", *Quat. Res*, 71, pp. 162-171.
- Imbrie, J. & Kipp, N.G. (1971). "A new micropaleontological method for Quantitative Paleoclimatology: application to a late pleistocene caribbean Core", In: Turekian, K.K. (Ed.), *The Late Cenozoic Glacial Ages*, Yale University Press, New Haven, CT, pp. 71-181.
- Li, Y.C., Xu, Q.H., Liu, J.S., Yang, X.L., & Nakagawa, T. (2007). "A transfer-function model developed from an extensive surface-pollen data set in northern China and its potential for palaeoclimate reconstructions", *The Holocene*, 17, pp. 897-905.
- MacDonald, G.M. & Edwards, K.J. (1991). "Holocene palynology: I principles, population and community ecology, palaeoclimatology", *Progress in Physical Geography*, 15, pp. 261-289.
- Markgraf, V., Webb, RS., & Anderson, KH. (2002). "Modern pollen/climate calibration for southern America", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 181, pp. 375-397.
- Masoudian, A. (2011). *Climate of Iran*. Sharie toos Pub. Mashhad. Iran
- Mauri, A., Davis, B.A.S., Collins, P.M., & Kaplan, J.O. (2015). "The climate of Europe during the Holocene: a gridded pollen-based reconstruction and its multi-proxy evaluation", *Quaternary Science Reviews*, 112, pp. 109-127.

- Miehe, G., Miehe, S., Schlütz, F., Kaiser, K., & Duo, L. (2006). "Palaeoecological and experimental evidence of former forests and woodlands in the treeless desert pastures of Southern Tibet (Lhasa, A.R. Xizang, China)", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 242, pp. 54-67.
- Mu, H., Xu, Q., Zhang, Sh., Hun, L., Li, M., Hu, Y., & Xie, F. (2015). "Pollen-based quantitative reconstruction of the paleoclimate during the formation process of Houjiayao Relic Site in Nihewan Basin of China", *Quaternary International*, Vol. 374, pp. 76-84.
- Nakagawa, T., Tarasov, P.E., Nishida, K., Gotanda, K., & Yasuda, Y. (2002). "Quantitative pollen-based climate reconstruction in central Japan: Application to surface and Late Quaternary spectra", *Quat. Sci. Rev.*, 21, pp. 2099-2113.
- Ortu, E., Brewer, S., & Peyron, O. (2006). "Pollen-inferred palaeoclimate reconstructions in mountain areas: problems and perspectives", *Journal of Quaternary Science*, 21, pp. 615-627.
- Overpeck, J. T., Webb III, T., & Prentice, I. C. (1985). "Quantitative interpretation of fossil pollen spectra: Dissimilarity coefficients and the method of modern analogs", *Quat. Res.*, 23, pp. 87-108.
- Pabot, H. (1960). *Native vegetation and its ecology in the Khuzistan River basins*, Unpublished report, Khuzistan Development Service, Ahwaz, Iran.
- Park, J. (2011). "A modern pollen-temperature calibration data set from Korea and quantitative temperature reconstructions for the Holocene", *The Holocene*, 21(7), pp. 1125-1135.
- Prentice, I. C., Bartlein, P. J., & Webb III, T. (1991). "Vegetation and climate change in eastern North America since the last glacier maximum", *Ecology*, 72, pp. 2038-2056.
- Risser, P. G. (1995). "Biodiversity and Ecosystem Function", *Conservation Biology*, Vol. 9, No. 4, pp. 742-746.
- Rull, V. (2006). "A high mountain pollen-altitude calibration set for palaeoclimatic use in the tropical Andes", *The Holocene*, 16, pp. 105-117.
- Safaeirad, R., Azizi, Gh., Alizadeh Lahijani, H., & Mohammadi, H. (2015). "Reconstructing the Holocene and Late-Pleistocene Climate Changes of the Central Zagros Using Palynological Evidences of the Hashilan Wetland". *Journal of Geography and Environmental Hazards*, Vol. 3, No. 3, pp. 1-20.
- Shen, C.M., Liu, K-B., Tang, L.Y., & Overpeck, J.T. (2006). "Quantitative relationships between modern pollen rain and climate in the Tibetan Plateau", *Review of Palaeobotany and Palynology*, 140, pp. 61-77.
- Sugaya, M., Okuda, M., & Okada, M. (2016). "Quantitative paleoclimate reconstruction based on a 130 ka pollen", *Quaternary International*, 397, pp. 404-416.
- Ter Braak, C.J.F. & Juggins, S. (1993). "Weighted averaging partial least squares regression (WA-PLS): An improved method for reconstruction environmental variables from species assemblages", *Hydrobiologia*, 269, pp. 485-502.
- Ter Braak, C.J.F. (1988). Canocoea FORTRAN program for canonical community ordination by (partial) (detrended) (canonical) correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis (version 2.1), Technical Rep. LWA-88-02. GLW, Wageningen, 95 p.
- Van zeist, W. (1967). "Late Quaternary vegetation history of western Iran", *Review of Palaeobotany and palynology*, No. 2, pp. 301-311.
- Van Zeist, W. & Bottema, S. (1977). PALYNOLOGICAL INVESTIGATIONS IN WESTERN IRAN.

- Wasylikowa, K., Witkowski, A., Walanus, A., Hutorowicz, A., Alexandrowicz, S.W., & Langer, J.J. (2006). "Palaeolimnology of Lake Zeribar, Iran, and its climatic implications", *Quaternary Research*, 66, pp. 477-493.
- Webb, T. & Bryson, R.A. (1972). "Late and postglacial climatic change in the northern Midwest, USA: Quantitative estimates from fossil pollen spectra by multi-variables statistical analysis", *Quaternary Research*, 2, pp. 70-115.
- Wen, R., Jule Xiao, Yuzhen Ma, Zhaodong Feng, Yuecong Li, Qinghai Xu (2013). "Polleneclimate transfer functions intended for temperate eastern Asia", *Quaternary International*, 311, pp. 3-11.
- Wright, H.E. Jr., McAndrews, J.H., & Van Zeist, W. (1967). "Modern Pollen Rain in Western Iran, and Its Relation to Plant Geography and Quaternary Vegetational History", *Journal of Ecology*, Vol. 55, No. 2, pp. 415-443.
- Xu, Q.X.J., Li, Y., Tian, F., & Nakagawa, T. (2010). "Pollen-Based Quantitative Reconstruction of Holocene Climate Changes in the Daihai Lake Area, Inner Mongolia, China", *Journal of climate*, Vol. 23, pp. 2856-2868.
- Xu, Q., Zhang, Sh., Gaillard, M.J., Li, M., Cao, X., Tian, F., & Li, F. (2016). "Studies of modern pollen assemblages for pollen dispersal-deposition- preservation process understanding and for pollen-based reconstructions of past vegetation, climate, and human impact: A review based on case studies in China", *Quaternary Science Reviews*, 149, pp. 151-166.
- Xu, Q.H., Li, Y.C., Yang, X.L., & Zheng, Z.H. (2007). "Quantitative relationship between pollen and vegetation in northern China", *Sci. China (Series D)*, 50, pp. 582-599.
- Yang, X.P. & Scuderi, L.A. (2010). "Hydrological and climatic changes in deserts of China since the late Pleistocene", *Quaternary Research*, 73, pp. 1-9.
- Zohary, M. (1963). On the geobotanical structure of Iran, Bull. Res. Coun. Israel. Sect. *D(Botany)*, 11D. SUPPL., 113 p.